

## Vers une agroécologie biodiverse : enjeux et principaux concepts mobilisés

Reboud X.<sup>1</sup>, Malézieux E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR Agroécologie, INRA, Centre de Dijon, F-21065 Dijon cedex

<sup>2</sup> UR HortSys, Cirad, Boulevard de la Lironde, F-34398 Montpellier cedex 5

Correspondance : xavier.reboud@dijon.inra.fr ; malezieux@cirad.fr

### Résumé

Ce texte constitue l'introduction à l'atelier « utiliser la Biodiversité » du colloque agroécologie du 17 Octobre 2013. Il est inspiré des échanges qui ont eu lieu au sein du groupe thématique 'Agro-écologie et sol' d'AllEnvi. Il énonce les enjeux et pose les bases conceptuelles relatives à l'utilisation de la biodiversité pour la gestion des agroécosystèmes.

**Mots-clés** : Paradigme de l'agriculture, complémentarité de gamme, balayage des échelles, principes écologiques, interactions biotiques, adaptation, résilience.

### Abstract : Towards a biodiverse agroecology: stakes and major concepts

This text relates to the introduction of the workshop "Using biodiversity" given on October, 18th at the 2013 symposium on Agroecology. It is inspired by the discussions of the working group "Agroecology and soil" of the alliance between institutes on environmental research AllEnvi. Some major issues are exposed and the principles on how the use of biodiversity could improve agroecosystem management are presented.

**Keywords** : paradigm in agriculture, niche complementarity, efficiency, scaling, ecological principles, biotic interactions, adaptation, resilience.

## 1. Quel paradigme pour l'agriculture de demain ?

L'agriculture exploite un environnement et des ressources « naturelles » dont on extrait une production utile à l'homme (nourriture, textile, biomasse, etc.), détournant à cette fin une partie de l'énergie collectée par l'écosystème. Dans le paradigme d'après-guerre et celui de la révolution verte, cette exportation des ressources sous forme de grains, de fruits, de viande, de fibres est compensée de manière artificielle et maximisée par l'apport d'intrants chimiques exogènes dans des systèmes mono-spécifiques basés sur des variétés et races créées pour leur haute productivité potentielle. Ces systèmes, pauvres en interactions biotiques, ont transformé les écosystèmes cultivés en de simples matrices essentiellement abiotiques, supports de ce que l'homme y apporte (Chevassus-au-Louis, 2012). Il en est résulté des externalités positives (un milieu 'propre' sans ravageurs, à forte productivité) mais aussi d'importantes externalités négatives (pollutions diverses, résidus dans les aliments, disparition de biodiversité, etc.) pouvant s'étendre au-delà des milieux strictement agricoles. L'homogénéisation du milieu qui résulte de cette approche a permis des économies d'échelles, l'espace agricole devenant un territoire de déploiement et d'optimisation d'une production standardisée dont la collecte est simplifiée et dont la qualité répond aux attentes d'une industrie de transformation construite sur ce paradigme. Ce choix s'est fait au détriment d'externalités positives autres ou complémentaires dans l'espace ou dans le temps et a acté et renforcé la dépendance de la production agricole vis-à-vis

d'une batterie d'intrants sophistiqués et propres à apporter une solution adaptée spécifique à chaque nouveau problème.

Ce constat conduit à repenser en profondeur le paradigme de la production agricole dans une autre direction, basée sur les interactions biotiques et régulations biologiques qui peuvent exister dans des écosystèmes plus complexes. La démarche consiste à réintroduire et entretenir la biodiversité des agrosystèmes aux différentes échelles. Illustré avec les productions végétales, elle peut se traduire par la conduite de différentes plantes/cultures de manière simultanée et/ou imbriquée afin de valoriser au mieux l'espace et tirer profit de la complémentarité des caractéristiques adaptatives et fonctionnelles de ces espèces. Une démarche similaire peut couvrir l'élevage ainsi que l'interface entre productions végétales et animales avec la conduite d'un troupeau dans un verger, par exemple. Dans son **principe d'exploiter au mieux toute la gamme des conditions et ressources offertes**, on peut qualifier ce paradigme de 'complémentarité de gamme'.

Outre une refonte en profondeur des modes de gestion de ces systèmes, mener une complémentarité de gamme nécessite de revoir les objectifs de l'amélioration génétique, afin de définir des variétés et des races animales adaptées non plus à un environnement simplifié et artificialisé, mais à un milieu biotique et abiotique plus complexe et plus riche en interactions de natures diverses. En restaurant une logique de complémentarité de gamme, on vise à mieux occuper l'ensemble des habitats, milieux et strates qu'offre l'environnement ainsi modifié. Une conséquence de cette nouvelle orientation est la diversification accrue de chaque territoire ce qui conduira à repenser en aval les modes de commercialisation, organisation des filières et réseaux de distribution.

Il y a un pari sous-jacent que l'extension de l'occupation de toutes les niches écologiques disponibles est en mesure de générer plus de biomasse que les nécessaires interactions biotiques entre organismes n'en détourneront par assurer leur maintien. Sur ce delta positif de biomasse et après une phase transitoire d'ajustement des génotypes, des assemblages d'espèces et des organisations spatiales, les meilleures complémentarités de gamme pourraient être ainsi globalement supérieures et plus durables que les stratégies découlant du choix des meilleurs génotypes dans le meilleur environnement possible.

Trouver comment passer du meilleur génotype dans le meilleur environnement possible à celui de la meilleure complémentarité de gamme dans un environnement hétérogène et moins prévisible constitue toutefois un changement de paradigme profond qui nécessite le développement de connaissances génériques capable d'extrapoler à partir de situations pionnières. Le bénéfice que l'on attend de combinaisons de pratiques dépend notamment de leur capacité à bien valoriser les conditions locales. Se passer d'intrants chimiques ne peut notamment se concevoir sans exploiter des savoirs nouveaux ou oubliés, accroître nos capacités d'observation et développement d'outils d'aide à la décision. Ceci appelle en particulier au développement de technologies nouvelles pour le diagnostic de l'état sanitaire des cultures et des troupeaux (Ephytia, barcoding, etc.) et la clarification des modalités d'utilisation de ces connaissances par les acteurs.

## 2. Bénéfices et principes sous-jacents d'une complémentarité de gamme

Outre le possible gain d'efficacité sur la gamme des ressources exploitées, l'hétérogénéité introduite et pilotée contient en elle-même une double propriété. La première est de réduire la taille des îlots homogènes colonisables par un organisme à comportement épidémique. Cette hétérogénéité spatiale et temporelle du système réduit les possibilités d'invasion par les bio-agresseurs et limite l'intensité des dégâts occasionnés, autorisant parfois de réaliser une impasse sur la lutte phytosanitaire (Crowder et al., 2010) et l'usage de médicaments. Sa généralisation donne lieu au **principe d'une maximisation de l'imprévisibilité** de l'environnement. La seconde propriété est l'étalement des risques. En «ne mettant pas tous ces œufs dans le même panier», on autorise l'expression de phénomènes de

compensation. La moindre réussite d'un individu sera mise à profit par ses voisins pour mieux exploiter la ressource libérée. Ainsi, si la composition d'un mélange prairial peut varier selon les années, les conditions météorologiques ou la charge en animaux, la complémentarité des besoins, la facilitation, voire la compétition entre espèces pour l'accès aux ressources lumineuses ou édaphiques donnera généralement lieu à la fermeture du couvert et à un entrelacs racinaire complet (Corre-Hellou et al. 2014). L'assemblage sera ainsi plus régulier et vigoureux que la simple somme des participants. La diversification des espèces partageant un même espace est alors gage d'une certaine stabilité qui peut elle-même être renforcée si différentes espèces partagent des caractéristiques communes. La généralisation de cette idée se retrouve dans **le principe de redondance fonctionnelle** entre les espèces composant le peuplement. A l'instar de certains systèmes agricoles notamment tropicaux pour lesquels la logique de gamme couvrant différentes strates tout au long de l'année s'exprime pleinement comme dans un jardin créole ou des systèmes agroforestiers (Correia et al., 2010), les agricultures des milieux tempérés pourraient reconstruire des solutions adaptées, sélectionner les variétés selon leur expression en mélange et/ou choisir des couverts d'intercultures ou d'inter-rangs compensant notamment les exportations des denrées récoltées ainsi que leur impact sur les états du milieu.

Le paradigme de complémentarité de gamme fait largement appel à la biodiversité, qu'elle soit introduite ou naturellement présente, et à notre capacité à la manipuler. Un assemblage naturel non régi par l'homme passe les filtres de la sélection naturelle, se développe sur les ressources auto-générées et s'autorégule dans un équilibre dynamique. A l'inverse, un milieu agricole intensif est moins autonome car dominé par quelques espèces, races ou variétés domestiquées et par les espèces sachant profiter des facilités offertes : adventices, ravageurs des cultures ou parasites du bétail, par exemple. En extrayant des ressources, les chaînes trophiques naturelles sont aussi raccourcies. La biodiversité présente dans l'agrosystème intensif se caractérise ainsi par un déficit relatif en macroorganismes et des chaînes trophiques courtes. Différents travaux scientifiques montrent que l'absence de certaines espèces clés réduit en retour l'ensemble de la diversité hébergée (Estes et al., 2011). **Tirer un meilleur profit de la biodiversité constitue ainsi un axiome de base** pour l'agroécologie. Sans doute ne faut-il pas pour autant en attendre une vertu universelle mais plutôt différentes formes d'expression de son intérêt, susceptibles de fournir de nouvelles externalités.

L'introduction de biodiversité nécessite de considérer plusieurs échelles et niveaux d'organisation. L'exemple de la lutte intégrée contre les ravageurs permet de combiner des diversités relevant de différentes échelles emboîtées : au niveau individuel de chaque plante (une diversité de gènes de résistance) au niveau populationnel (un mélange d'individus portant des gènes ou combinaisons de gènes différents) au niveau du peuplement végétal (cultures plurispécifiques) et au niveau du paysage par une mosaïque de zones variées. Certaines zones pourront héberger des ressources hôtes sur lesquelles la sélection naturelle privilégiera chez les ravageurs des caractères adaptatifs potentiellement divergents de ceux favorables sur la culture. Ce même **principe de réduction du potentiel adaptatif** est par exemple connu pour être mis en pratique dans la stratégie de refuge en lien avec le déploiement de variétés résistantes. D'autres zones dans et hors des parcelles peuvent entretenir des cortèges d'auxiliaires à même de contenir la charge parasitaire à un faible niveau. Ainsi, une répartition des variétés/espèces dans l'espace et dans le temps autorise à élargir la gamme des situations de cohabitation avec des pathogènes. Les atteintes à la santé des cultures ou des troupeaux seront occasionnellement ou régulièrement présentes, mais d'intensité et d'impact réduit. La recherche devra mieux s'approprier les relations entretenues entre les changements d'échelles et les causes de variation de l'intensité des régulations biologiques et ses autres conséquences sur la stabilité d'un réseau trophique (Bascompte, 2010 ; Thébault et Fontaine, 2010).

La complémentarité de gamme peut aussi être réfléchi dans l'optique de maximiser les gradients environnementaux occupés : organisation des systèmes racinaires sur des horizons différents, couverture temporelle élargie avec des espèces tolérant bien des extrêmes climatiques (température ou humidité par exemple). La plus grande rareté de niches écologiques vacantes qui devrait en résulter est

à même de limiter l'expansion des espèces indésirables. Cette stratégie peut être étendue à un **principe d'optimisation de l'occupation de l'espace**. Ceci suggère toutefois d'inscrire plus explicitement la capacité de robustesse et de compétitivité des espèces domestiquées sur une gamme élargie de critères abiotiques et biotiques ([www6.inra.fr/micmac-design](http://www6.inra.fr/micmac-design)). Si les variétés cultivées actuellement montrent de fortes capacités à capturer et valoriser les nutriments, ceci s'est fait de manière concomitante à l'érosion de la capacité de résistance aux agressions biotiques (contrôlées par d'autres moyens) ou à une réduction de la gamme de tolérance aux stress abiotiques. Des études ont été conduites pour réévaluer la performance des variétés ou des rotations culturales sur des pas de temps plus longs (Oury et al., 2003). Un tel classement révèle mieux les capacités de robustesse et de rusticité. Les variétés disposant de composantes de rattrapage dans l'élaboration du rendement ne sont jamais en première place une année donnée mais expriment bien leur potentiel dans la productivité moyenne et la faible variance autour de cette valeur. D'autres travaux montrent que les variétés dites élites ne sont pas les plus performantes pour les cultures associées. Choisir et sélectionner les variétés ou races adaptées à des conduites agro-écologiques constitue un réservoir potentiel majeur de progrès (Meynard, et al 2009).

Enfin, deux autres bénéfices potentiels de la complémentarité de gamme sont classiquement envisagés. Le premier explore un **principe de la complémentarité de capture et d'utilisation des ressources** entre espèces végétales avec l'exemple bien connu des associations graminée et légumineuse fixatrice d'azote comme illustration (généralisé en écologie, sous le vocable de 'facilitation'). La seconde renvoie à la capacité accrue d'un couvert composite à 'absorber' des conditions climatiques exceptionnelles telles que des crues ou périodes de sécheresse. Si les conditions extrêmes sont par définition rares, leur effet n'en est pas moins majeur (Holling, 1973 ; Dynesius et Jansson, 2000) et leur occurrence d'autant plus inévitable que l'on considère des pas de temps longs. Les scientifiques parlent du **principe de résistance et de résilience** de l'agro-écosystème quand ils évoquent l'élargissement des potentialités adaptatives avec la diversification des espèces partageant un même espace. De plus, la présence concomitante d'hétérogénéités à la fois spatiales et temporelles est gage d'une désynchronisation des cycles biologiques ayant une propriété stabilisante (Vinatier et al., 2009). Enfin, pour maintenir les caractéristiques et propriétés de l'environnement, une part des ressources produites doit rester sur place afin de soutenir le fonctionnement de l'écosystème. Ceci est réuni dans une catégorie particulière des services écosystémiques dits de 'support'. Les scientifiques ne disposent pas encore d'évaluation de la proportion des ressources que recouvre ce **'métabolisme de base' de l'agro-écosystème** et la place qu'occupe le recyclage de la matière organique dans ce processus.

### 3. Des activités agricoles et des politiques territoriales compatibles avec l'activité biologique

Savoir placer le curseur de la spécialisation de l'espace agricole entre les objectifs de production, de conservation ou de multifonctionnalité repose sur la forme attendue de la relation de compensation entre l'intensité des facteurs de production et leurs impacts environnementaux (Green et al., 2005). Une telle relation n'est généralement pas connue et demeure largement théorique. Sans cette connaissance précise, il paraît logique d'ajuster le choix à la fragilité du milieu concerné. Tous les environnements n'ont pas la même propension à générer des ressources exportables et valoriser les apports. Des milieux fragiles peu résilients tels que certains milieux steppiques ou, à l'opposé, certains milieux aquatiques, feront l'objet de plus d'effort de conservation mais ne sont pas les seuls concernés. Sans changer la composition d'un assolement, on peut, par exemple, rendre une matrice paysagère plus accueillante pour des organismes 'territoriaux' qui doivent trouver dans un espace limité les ressources et habitat nécessaires à la réalisation de leur cycle biologique. Pour les oiseaux cavernicoles, la densité des lieux de nidification est en soi un facteur limitant ; pour d'autres oiseaux, c'est l'absence sur un territoire de zones où se nourrir, dormir et pondre qui pose problème. Si de tels oiseaux se nourrissent

sur des sols non couverts et nichent dans des milieux prairiaux fermés, le simple redécoupage de la matrice paysagère des cultures et des prairies pourrait étendre les capacités d'accueil. D'une manière générale, tout organisme potentiellement limité dans ces déplacements sera sensible à la disposition spatiale et temporelle des ressources (Blitzer et al., 2012). Les pollinisateurs qui doivent pouvoir s'alimenter tout au long de la saison ont besoin de trouver des floraisons relais pour couvrir l'ensemble des périodes critiques. Une rupture de l'approvisionnement, même de durée courte, peut réduire drastiquement la viabilité démographique et les effets sont souvent non proportionnels aux facteurs responsables. Il y a donc à étendre un **principe général d'adéquation des échelles d'organisation** des territoires et des politiques publiques avec les échelles biologiques. Cette cohérence bénéficiera aux agriculteurs en intensifiant notablement les régulations biologiques favorables à la santé des cultures et des troupeaux, ou en contenant mieux les bio-agresseurs qui dispersent depuis un front de colonisation.

## Conclusion

La diversité biologique a été façonnée mais a aussi répondu à des changements majeurs dont ceux d'origine climatique. Elle ressort aujourd'hui comme un moteur incontournable de nouveaux systèmes de production susceptibles de fournir des services multiples. Le paradigme de complémentarité de gamme illustre la volonté d'étendre les possibilités d'économies d'intrants en s'appuyant sur la biodiversité. On commence à savoir en évaluer à la fois les principes sous-jacents, les contraintes et les bénéfices attendus sur le court comme sur le moyen terme. Dans une période charnière entre paradigmes, il est normal que toutes les 'solutions' ne soient pas encore réunies ; aussi beaucoup de pistes étudiées sont encore à l'état de potentiel. Au-delà du changement de paradigme, c'est aussi de nouvelles relations avec les agriculteurs qui doivent être créées, pour associer étroitement connaissances scientifiques et savoirs locaux, une condition nécessaire à l'émergence de nouveaux systèmes. En partant de l'existant, d'autres pistes explorent les moyens d'accroître les performances par l'intégration d'innovations dans des systèmes plus conventionnels (Guyomard et al., 2013).

Enfin, d'un point de vue éthique, une telle posture sur la place donnée à la biodiversité dans nos productions agricoles conduit à la fois à porter plus d'attention et de respect à la richesse des organismes et des paysages que nous occupons et, dans le même temps à accepter d'accroître notre main mise ou au moins notre responsabilité sur ces ressources dont le côté naturel, spontané et désintéressé s'estompe avec l'accroissement des attentes qu'on leur attribue.

## Références bibliographiques

- Actes du colloque agroécologie, 2013. [www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Agroecologie/Tous-les-dossiers/L-agro-ecologie-a-l-Inra-la-recherche-s-organise/Atelier-utiliser-la-biodiversite](http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Agroecologie/Tous-les-dossiers/L-agro-ecologie-a-l-Inra-la-recherche-s-organise/Atelier-utiliser-la-biodiversite)
- Bascompte J., 2010. Structure and Dynamics of Ecological Networks. *Science* 329, 765-766
- Blitzer E.J., Dormann C.F., Holzschuh A., Klein A.M., Rand T.A., Tschamntke T., 2012. Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 146 (1), 34-43.
- Chevassus-au-Louis B., 2012. Biodiversité et développement durable: Les enjeux de la «recapitalisation écologique». *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 68 (4), 15-20.
- Corre-Hellou, G., Baranger, A., Bedoussac, L., Cassagne, N., Cannavacciuolo, M., Fustec, J., ... & Piva, G. (2014). Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales. *Innovations Agronomiques*, 40.

- Correia M., Diabaté M., Béavogui P., Guilavogui K., Lamada N., de Foresta H., 2010. Conserving forest tree diversity in Guinée Forestière (Guinea, West Africa): the role of coffee-based agroforests. *Biodiversity and Conservation* 19 (6), 1725-1747.
- Crowder D.W., Northfield T.D., Strand M.R., Snyder W.E., 2010. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature* 466, 109-112.
- Dynesius M., Jansson R., 2000. Evolutionary consequences of changes in species geographical distributions driven by Milankovitch climate oscillations. *PNAS* 97, 9115-9120.
- Estes, J. A., Terborgh, J., Brashares, J. S., Power, M. E., Berger, J., Bond, W. J., ... & Wardle, D. A. 2011. Trophic downgrading of planet Earth. *Science* 333 (6040), 301-306
- Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P., & Balmford, A. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307 (5709), 550-555.
- Guyomard H., Huyghe C., Peyraud J.L., Boiffin J., Coudurier B., Jeuland F., Urruty N., 2013. Vers des agricultures à hautes performances. Volume 2. Conception et évaluation de systèmes innovants en agriculture conventionnelle. Inra, 234 pages.
- Holling C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4, 1-23.
- Meynard, J. M., Rolland, B., Loyce, C., Félix, I., & Lonnet, P. 2009. Quelles combinaisons variétés/conduites pour améliorer les performances économiques et environnementales de la culture de blé tendre. *Innovations Agronomiques*, 7, 29-47.
- Oury F.-X., Bérard P., Brancourt-Hulmel M., De-patureaux C., Doussinault G., Galic N., Giraud A., Heumez E., Lecomte C., Pluchard P., Rolland B., Rousset M., Trottet M., 2003. Yield and grain protein concentration in bread wheat: a review and a study of multiannual data from a French breeding program. *J. Genet. Breed.* 57, 59-68.
- Thébault E., Fontaine C., 2010. Stability of Ecological Communities and the Architecture of Mutualistic and Trophic Networks. *Science* 329, 853-856.
- Vinatier F., Tixier P., Le Page C., Duyck P.-F., Lescourret F., 2009. COSMOS, a spatially explicit model to simulate the epidemiology of *Cosmopolites sordidus* in banana fields. *Ecological Modelling* 220, 2244-2254.